Aportación española al 35º congreso de la
Unión Geográfica Internacional, Dublín 2024

Celebrando un mundo de diferencia

DIVERSIDAD, DINÁMICAS Y RESPUESTAS ANTE EL CAMBIO GLOBAL

**Comité Español de la
Unión Geográfica Internacional**

AGE Asociación Española de Geografía
Real Sociedad Geográfica 1876
CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Centro Geográfico del Ejército
Societat Catalana de Geografia
Gobierno de España · Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible · Instituto Geográfico Nacional

Publicación digital: Diversidad, dinámicas y respuestas ante el cambio global
Edición 2024, vol. 1 (versión en español)

Autor corporativo:
Comité Español de la UGI (2024)
© Comité Español de la UGI, 2024

Producción General y edición: Carmen Carmona García (IGN)

Diseño y edición (Atlas Nacional de España-IGN):
Sergio García Chinarro
Noemí Heranz Redondo

Editorial:
© de esta edición: Centro Nacional de Información Geográfica, 2024
General Ibáñez de Ibero, 3. 28003 Madrid (España).

www.ign.es - consulta@cnig.es

NIPO Digital: 198-24-034-9
DOI: 10.7419/162.18.2024
ISBN: 978-84-416-8356-3

Catálogo de publicaciones de la AGE: cpage.mpr.gob.es

Aportación española al 35º congreso de la
Unión Geográfica Internacional, Dublín 2024

Celebrando un mundo de diferencia

DIVERSIDAD, DINÁMICAS Y RESPUESTAS ANTE EL CAMBIO GLOBAL

**Comité Español de la
Unión Geográfica Internacional**

AGE Asociación Española de Geografía
Real Sociedad Geográfica 1876
CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Societat Catalana de Geografia
Gobierno de España · Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible · Instituto Geográfico Nacional

Comité Editorial

Macià Blázquez-Salom
AGE
mblazquez@uib.cat

Carmen Carmona García
Instituto Geográfico Nacional
ccarmona@transportes.gob.es

Jaume Font Garolera
Societat Catalana de Geografia
jaume.font@ub.edu

María Jesús Perles Roselló
Asociación Española de Geografía
mjperles@uma.es

Dolores Puga González
Instituto de Economía, Geografía y Demografía
dolores.puga@csic.es

Manuel Valenzuela Rubio
Real Sociedad Geográfica
manuel.valenzuela@uam.es

Manuel Antonio Zárate Martín
Real Sociedad Geográfica
mzarate@geo.uned.es

Comité Científico

Compuesto por los miembros del Comité Español UGI

Comité Español UGI

PRESIDENTE

Dr. Jesús Manuel González Pérez
Asociación Española de Geografía
info@age-geografia.es

VICEPRESIDENTE

Dr. Rafael Puyol Antolín
Real Sociedad Geográfica
realsociedadgeografica@gmail.com

SECRETARÍA GENERAL

Dra. María García Hernández
Asociación Española de Geografía
spanish.committee.ugi@gmail.com

Dra. Mª Asunción Martín-Lou
Real Sociedad Geográfica
realsociedadgeografica@gmail.com

VOCALES

Real Sociedad Geográfica
Dra. Concepción Camarero Bullón
concepcion.camarero@uam.es

Dr. Rafael de Miguel
rafaelmg@unizar.es

Dr. Antonio Zárate Martín
mzarate@geo.uned.es

Asociación Española de Geografía
Dra. Asunción Blanco Romero
asuncion.blanco@uab.cat

Dr. Rubén C. Lois González
rubencamilo.lois@usc.es

Dra. Dolores Sánchez Aguilera
dsanchez.aguilera@gmail.com

Instituto Geográfico Nacional
Dña. Carmen Carmona García
ccarmona@transportes.gob.es

Centro Geográfico del Ejército
Coronel Jefe. D. José Luis Sánchez Tello
jsante1@et.mde.es

Instituto de Economía y Geografía y Demografía - CSIC
Dra. Gloria Fernández-Mayoralas
gloria.fernandezmayoralas@csic.es

Societat Catalana de Geografía
Dr. Rafael Giménez-Capdevila
rgcbcn@gmail.com

Movilidad entre las Grandes Áreas Urbana y *metapolización* del territorio en España

METROPOLIZACIÓN, GENTRIFICACIÓN, REESTRUCTURACIÓN URBANA

S. Escolano-Utrilla
Departamento de
Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza
severino@unizar.es

C. López-Escolano
Departamento de
Geografía y Ordenación del Territorio
Universidad de Zaragoza
cle@unizar.es

J. A. Salvador-Oliván
Departamento de Ciencias de la
Documentación e Historia de la Ciencia
Universidad de Zaragoza
jaso@unizar.es

RESUMEN

Este trabajo estudia la estructura funcional y la organización espacial de las interacciones entre las Grandes Áreas Urbanas (GAU) españolas para identificar posibles procesos de *metapolización*, es decir, de formación de grandes regiones urbanas funcionales. Para medir las interacciones entre las GAU se ha utilizado como indicador la movilidad de las personas, estimada a partir de los registros de seguimiento de localización de terminales móviles. Con estos datos se ha construido una red espacial de flujos de viaje a la que se ha aplicado métodos de análisis de redes. Los resultados indican que esta red tiene estructura jerárquica, multicéntrica y con una distribución heterogénea de los flujos de viaje según su volumen y longitud. Los agrupamientos funcionales forman territorios compactos y condicionados por las infraestructuras de transporte, pero presentan diferencias entre ellos. En el centro peninsular predominan los flujos internos, mientras que en los costeros existe gran conectividad interclúster, lo que sugiere la presencia de procesos de *metapolización* en estas áreas.

PALABRAS CLAVE

Movilidad, Grandes Áreas Urbanas, redes espaciales, metapolización, España.

1. INTRODUCCIÓN

La dinámica y formas de la organización espacial de las sociedades contemporáneas difieren de las de etapas históricas previas. Las innovaciones tecnológicas o las mejoras en las infraestructuras y medios de transporte y otros factores, han modificado los contextos -físico, institucional, económico, tecnológico, cultural- en que las personas y demás agentes sociales y económicos desarrollan sus actividades.

Estos cambios han impactado en las ciudades, que han experimentado procesos de reconfiguración a varias escalas, tanto de su espacio físico como de las estructuras socioeconómicas, funcionales y espaciales, debido al nexo estructural que vincula las ciudades con la organización social. La expansión suburbana residencial, productiva y de servicios en forma de aureolas ha dado paso a nuevas formas más complejas y extensas. Las periferias de las grandes áreas metropolitanas se han diversificado y fragmentado, mientras que los centros urbanos intensifican su especialización. Estas áreas forman grandes unidades funcionales multicéntricas conectadas por flujos de personas, de información, financieros y de bienes y servicios. Para explicar y describir estos procesos se han propuesto conceptos como «metropolización del territorio» (Indovina, 2003) o, para el caso de las grandes ciudades latinoamericanas, el modelo «postsuburbia» (Borsdorf, 2004).

Al mismo tiempo, y en relación con la transformación de los espacios metropolitanos, también se reorganizan las relaciones intermetropolitanas. Ascher, (2004) denomina «metápolis» a las grandes regiones urbanas discontinuas que, en el contexto de la globalización, se articulan en redes multipolares, discontinuas y heterogéneas. La dispersión espacial, la especialización y la propia naturaleza de las actividades de estas nuevas formas urbanas implican que, para garantizar la cohesión y el funcionamiento unitario de las redes urbanas, los flujos de todo tipo se multipliquen. Por tanto, los flujos y las infraestructuras que los canalizan son loa elementos clave de la constitución de estas redes urbanas (Castells, 1995).

Las áreas urbanas españolas no han sido ajenas a estos procesos de metropolización (Archondo *et al.*, 2018; Cebrián-Abellán, 2018) y de reorganización de las relaciones interurbanas, apoyados en las mejoras en las infraestructuras de transportes y comunicaciones. Por eso, es oportuno plantear algunas cuestiones acerca de las interacciones entre las Grandes Áreas Urbanas (GAU) españolas, en particular sobre su estructura espacial y funcional. En concreto, esta investigación se propone responder a las siguientes:

1. ¿Qué estructura funcional y espacial tiene la conectividad de los flujos de viajes entre GAU?
2. ¿Se pueden identificar agrupamientos funcionales y espaciales de GAU?
3. ¿Cuál es la relación entre el volumen de los flujos de viaje y su longitud?

Los desplazamientos en el espacio geográfico suponen un incremento de los costes (esfuerzo, energía...) que dependen de la distancia recorrida, lo que implica que los desplazamientos largos deben tener alguna compensación (minimización de costes y maximización de la utilidad). Por esta razón, es más probable que las relaciones sean más intensas entre lugares cercanos que entre los alejados (primera ley de la geografía). No obstante, las mejoras en los transportes y otros factores pueden modificar la fricción del espacio geográfico (impedancia) en los desplazamientos. Por tanto, se espera que los flujos de viajes muestren una fuerte autocorrelación espacial, pero que la fricción del espacio geográfico sea heterogénea, específica para cada GAU.

Para representar las interacciones entre GAU se ha seleccionado la movilidad física de las personas, ya que tiene una gran significación social y espacial y favorece la comunicación en el ámbito empresarial y personal. Las preguntas de investigación se han abordado mediante el análisis de redes espaciales. Los resultados aportan conocimiento novedoso sobre las relaciones entre las GAU que es muy útil para diseñar políticas de ordenación territorial (Perrin, 2021). Los resultados permiten delimitar varios niveles de espacios funcionales, en lugar de basarse en áreas administrativas (Ratti *et al.*, 2010),y también identificar la intensidad de posibles procesos de *metapolización*.

El resto de los contenidos se organiza del modo siguiente. En la sección 2 se presentan los conceptos que fundamentan la consideración de las interacciones como una red espacial. En la sección 3 se describen los datos y procedimientos utilizados para analizar las interacciones y modelar su relación con la longitud de los viajes. La sección 4 contiene los resultados de los análisis sobre la jerarquía, conectividad, agrupación espacial y distancia de las interacciones. En la sección 5 se interpretan los resultados en relación con las preguntas de investigación. El trabajo finaliza con la sección 6, que incluye consideraciones generales sobre los resultados obtenidos y se indican algunas líneas futuras de investigación.

2. LA MOVILIDAD INTERURBANA COMO RED ESPACIAL: CONTEXTO Y MARCO TEÓRICO

2.1. EL CONTEXTO DE LA MOVILIDAD INTERURBANA

La movilidad interurbana es una práctica socioespacial, factor y producto al mismo tiempo, transversal a múltiples dimensiones socioeconómicas y territoriales. En general, desde finales del siglo XX las grandes áreas metropolitanas y otras ciudades intermedias (Olazabal & Bellet, 2019) han incrementado sus dimensiones demográficas, económicas y físicas al mismo tiempo que han experimentado cambios de su estructuras sociodemográficas, espaciales y funcionales, con intensidad y ritmos propios de cada caso. Las transformaciones en los procesos y localización de las actividades productivas (Escalona-Orcao y Climent-López, 2012) y en la distribución de bienes y servicios -digitalización, plataformas logísticas- (Holl y Mariotti, 2018; Morales-Gil, 2010) así como la extensión y mejora de las redes de infraestructuras de transportes y comunicaciones varias (Holl, 2007; López-Escolano y Pueyo-Campos, 2018) y ferroviarias de alta velocidad (Bellet y Ureña, 2016; Bellet-Sanfeliu *et al.*, 2010; Gutiérrez, 2001; Ureña, 2005) son otros tantos factores que han impactado en el desarrollo y formas de la movilidad interurbana.

Las ciudades españolas, especialmente las grandes áreas urbanas, no han sido ajenas a estos cambios. Por un lado, se constata la creciente la dispersión de la población y de las actividades socioeconómicas y fragmentación del espacio físico (Azcárate Luxán *et al.*, 2010; de Miguel González, 2001; Gil-Alonso *et al.*, 2020); por otro, se diversifican las actividades de las periferias y se intensifica la especialización de los centros urbanos (Miralles-Guasch y Tulla-Puyol, 2012) con especial impacto de las actividades terciarias y del turismo.

2.2. LA MOVILIDAD INTERURBANA COMO UNA RED SOCIOESPACIAL

La movilidad interurbana estudiada en este trabajo se refiere a los viajes de las personas entre sus domicilios y lugares en los que desarrollan una actividad (laboral, educativa, ocio). Estos desplazamientos pueden tener diferentes propósitos, pero la elección de un lugar de trabajo, de estudio o de residencia influye la movilidad propia y de otras personas. Esta interacción entre agentes y lugares constituye la base para considerar la movilidad interurbana como una red espacial (o geográfica) compuesta por nodos y conexiones (Andris *et al.*, 2018). Puesto que los desplazamientos individuales están agregados en *Grandes Áreas Urbanas*, los nodos de las redes se corresponden con los centroides de las GAU y las conexiones representan la dirección y el volumen de los flujos de personas entre GAU: los nodos, las conexiones, y sus atributos forman una red direccionada y ponderada de la movilidad interurbana.

La naturaleza geográfica de la movilidad interurbana hace que las redes espaciales, que tienen propiedades diferentes de las redes sociales, sean muy apropiadas para su modelado. En las redes espaciales los nodos, y eventualmente las aristas, se localizan en el espacio geográfico, lo que implica que la formación de conexiones supone un coste (en tiempo, recursos, psicológico, esfuerzo) que deriva de la fricción del espacio (Adams *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2018; Barthélemy, 2022). Las restricciones que impone el espacio geográfico en el que se inscriben las redes espaciales condicionan también su conectividad, caracterizada por la presencia excesiva de conexiones de corta distancia frente a las de larga distancia. El principio de autocorrelación espacial de los fenómenos geográficos, enunciado en la conocida *first law of Geography* «Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things» (Tobler, 1970, p. 236), fundamenta la abundancia de conexiones a corta distancia frente a las menos frecuentes de larga distancia. La movilidad de corta distancia, hacia GAU próximas a la GAU de residencia, es el tipo de movilidad más frecuente. En el otro extremo, los viajes de larga distancia son menos frecuentes.

Para estimar la movilidad agregada entre localizaciones, consideradas de forma individual u organizada en redes, se han aplicado diferentes modelos (Barbosa *et al.*, 2018). Los modelos de gravedad son los más comunes y se basan en la distancia como un factor clave de la movilidad. En cambio, los modelos *intervening opportunities* (Stouffer, 1940) no vinculan directamente la movilidad con la distancia, sino con las oportunidades que ofrecen los lugares

de origen y destino. Por otra parte, el modelo de radiación (Simini *et al.*, 2012) asume que las personas toman decisiones sobre su movilidad en dos etapas: primero seleccionan las oportunidades (y lugares donde se localizan) y después las ordenan según la distancia a la que se encuentran de la localización de origen (Barbosa *et al.*, 2018).

Los resultados de los trabajos sobre la movilidad interurbana llevados a cabo con métodos de redes espaciales, han revelado algunas regularidades empíricas. Así, se ha observado que el volumen y la longitud de los flujos de viaje se ajustan a una distribución power law con exponentes negativos similares, independientemente de la distancia recorrida o del tipo de transporte utilizado (aéreo, terrestre, a pie) (Barthélemy, 2011; De Montis *et al.*, 2007), lo que indica la influencia de la distancia en el volumen de flujos.

En general, los estudios de la morfología de las redes espaciales ponderadas y direccionadas de la movilidad interurbana han puesto de relieve los efectos de la distancia (expresada en términos de separación entre localizaciones, coste de viaje o esfuerzo invertido en viajar) y otros factores sobre la movilidad de las personas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. INTERACCIÓN ENTRE GRANDES ÁREAS URBANAS (GAU): VIAJES, GAU Y DATOS PARA EL ANÁLISIS

La interacción entre las GAU se ha medido por el número de viajes que entran o parten de cada una. Se ha seleccionado este dato porque, en conjunto, representa bien las relacionales funcionales entre ciudades. Un viaje se define como el «desplazamiento entre las localizaciones de dos actividades consecutivas. Un viaje tiene un propósito principal determinado por la actividad en el origen, la actividad en el destino o la combinación de ambas. Un viaje puede ser monomodal o multimodal y estar compuesto por una o varias etapas» (MITMA, 2023, p. 6).

En el presente trabajo solo se considera el número total de viajes que salen o llegan a cada GAU. Para captar la estructura de las interacciones se utilizan los viajes de una semana de actividad normal, concretamente los días 17 a 20 de abril 2023 (de lunes a jueves) y se han excluido los flujos entre GAU inferiores a 20 viajes/semana. Los datos recogen, principalmente, los desplazamientos de trabajadores y estudiantes. El total de viajes origen-destino de las GAU en el período estudiado asciende a 431,9 millones, de los cuales 395,7 (el 91,6%) son viajes internos, 8,6 millones (el 2,6%) son viajes de GAU a GAU, estudiados en esta investigación y 27,5 (6,4%) son viajes desde las GAU a otras áreas.

Las GAU son las unidades espaciales de este estudio y están constituidas, al menos, por un municipio de 50 000 habitantes o más o que sea capital de provincia, o por varios municipios contiguos a los anteriores si tienen más de 1 000 habitantes (MITMA, 2022, p. 15). En las GAU se localiza el 68,2% de la población española (32,3 millones de habitantes) y el 76,2% del empleo total en 2023, aunque su superficie solo ocupa el 8,9% del territorio nacional.

Los datos, obtenidos del Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana (MITMA, n.d.), se han representado mediante una red geoespacial dirigida (*directed*) y ponderada (*weighted*) compuesta por 86 nodos, localizados en los centroides de cada GAU, y 3 259 conexiones que representan la magnitud y dirección de los flujos de viajes entre cada GAU.

3.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LAS INTERACCIONES FUNCIONALES Y ESPACIALES

Para alcanzar los objetivos del estudio, se ha analizado la red de flujos de viaje aplicando métodos de análisis de redes espaciales que permiten caracterizar la estructura funcional y espacial de la red. El análisis se ha realizado en dos fases: a) cálculo de indicadores globales y locales de la jerarquía y conectividad de la red y b) modelado de la relación entre los flujos y la distancia entre GAU.

Para medir y caracterizar los principales aspectos funcionales de las interacciones se ha optado por el uso indicadores que ponderan las conexiones por su volumen de viajes, ya que tienen en cuenta la heterogeneidad de los flujos entre GAU. Para este fin, se ha adaptado el marco metodológico propuesto por Limtanakool *et al.* (2007), que distingue tres dimensiones de las redes de interacción: estructura (*structure*), fortaleza (*strength*) y simetría (*symmetry*) y dos niveles de análisis, uno *global* y otro *local*. Del nivel global se ha tomado el indicador de *entropía* y del nivel local los indicadores de *dominancia total* (fortaleza) y *simetría de los nodos*, que son indicadores normalizados de la fortaleza y saldo de viajes de los nodos. No se han utilizado los indicadores de *simetría* y *potencia relativa* de las conexiones, ya que en este caso la simetría entre las aristas de dos nodos es muy elevada. En su lugar se empleado el *índice de desigualdad* Y_2 entre las aristas de cada nodo (Barthélemy *et al.*, 2005; De Montis *et al.*, 2007) y el de *potencia relativa* de cada arista respecto del total de viajes que entran o salen de cada nodo (Tabla 1).

Nivel	Indicador	Ecuación	Máximo / Mínimo	Observaciones
Global	***Entropía**	$EI = -\sum_{i=1}^{L} (Z_l)Ln(Z_l) \Big/ Ln(L)$	$0 \leq \text{EI} \leq 1$	0: todas las interacciones se concentran en un nodo; 1: sin estructura jerárquica; (todas las aristas de la red tienen el mismo flujo)
Local	***Dominancia total (fortaleza) (DIT_i)**	$DIT_i = \frac{T_i}{\sum_{j=1}^{J} T_j \Big/ J}$	$0 \leq \text{DIT}_i$ and $\text{DII}_i \leq \infty$	0: un nodo está aislado ∞: un nodo domina la red Es un índice normalizado de la fortaleza de un nodo
	***Simetría (gravitación) (nodo) (NSI_i)**	$NSI_i = \frac{\sum I_i - \sum O_i}{\sum I_i + \sum O_i}$	$-1 \leq \text{NSI}_i \leq 1$	-1: nodo asimétrico, con máximo déficit de flujo neto; 0: nodo completamente simétrico en su flujo neto; 1: nodo asimétrico, con máximo superávit de flujo neto
	****Desigualdad (del reparto de viajes entre cada nodo)**	$Y_2(i) = \sum_{j \epsilon V(i)} [\frac{w_{ij}}{s_i}]^2$	$Y_2 \approx 1/k_i$ si los pesos se reparten de forma homogénea entre las aristas (k)	Si los pesos se concentran en unas pocas aristas, Y_2 se aproxima a la unidad
	*****Polarización (de una arista) (PL_{ij})**	$PL_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} t_{ij}}$	$0 \leq PL_{ij} \leq 1$	Proporción de viajes de cada arista que sale o entra en un nodo (GAU) en relación con el total de viajes que entran o salen de ese nodo 0: una arista (link) no existe 1: polarización máxima

L — Arista (*link*) de la red (l = 1, 2, 3, . . ., L).
Z_l — Proporción de viajes de la arista l en relación con el número total de viajes de la red.
I_i, I_j — Número de viajes a (in) de los nodos i y j.
T_i, Tj — Número total de viajes asociados con los nodos i y j.
t_{ij} — Número de viajes desde el nodo i al j.
O_i — Numero de viajes desde (out) el nodo i.
w_{ij} — peso (viajes) del de la arista entre el nodo i y el nodo j.
s_i — Fortaleza (número total de viajes del nodo i
i, j — i = 1, 2, 3, . . ., I; j = 1, 2, 3, . . ., J; para $i \neq j$.

Tabla 1. Indicadores funcionales de la red de interacciones.
Fuente: *Limtanakool el al., 2007; **Barthelemhy *et al.*, 2005; *** los autores.

El estudio de la organización espacial de la red de interacciones se ha centrado en dos aspectos. Por un lado, se han identificado los agrupamientos funcionales (clústeres, módulos, comunidades) y su territorialización. Por otro, se ha analizado la distribución de los flujos de viajes según su longitud y el alcance espacial de la movilidad de cada nodo.

Los grupos funcionales se han delimitado mediante la aplicación del algoritmo de agrupamiento de nodos *Infomap*. Este método revela la estructura de la red teniendo en cuenta la jerarquía y el peso de las conexiones (Rosvall *et al.*, 2009). Por esta razón, se puede aplicar a *redes dirigidas*, como es el caso de las redes de movilidad, en las que el flujo entre los nodos no es simétrico. Se ha utilizado la versión implementada en el módulo *Community Detection* (Singhal *et al.*, 2020) del programa *Cytoscape 3.9.* (Shannon *et al.*, 2003). El parámetro *Markov time* (0<mt<1) escala el flujo de enlaces para cambiar el coste de moverse entre módulos. Se ha aplicado un valor alto a este parámetro, 0,95, para dificultar la formación de numerosos módulos de tamaño reducido.

El análisis de la estructura de los clústeres plantea la cuestión fundamental acerca del grado en que la movilidad se produce entre nodos muy cohesionados del mismo clúster, por razones de accesibilidad o por otras causas, y en qué medida las conexiones a larga distancia integran los clústeres en un único espacio de movilidad. Para examinar esta cuestión utilizamos el índice *external-internal* (EI_i) (Krackhardt y Stern, 1988),que es un indicador normalizado de la cohesión de un módulo. Este índice expresa la proporción entre la movilidad de los nodos dentro del mismo clúster (conexiones internas: I) y la movilidad hacia nodos externos al clúster (conexiones externas: E). El índice se ha calculado teniendo en cuenta los pesos (*w*) de las conexiones. El valor del índice EI_i varía entre -1 y 1: un valor -1 indica que todas las conexiones son internas (los nodos forman un grupo aislado); un valor 1 indica que todas las conexiones son externas, un valor 0 denota equilibrio entre conexiones internas y externas, o igualdad de los flujos de movilidad dentro y hacia fuera del clúster (tabla 2).

La longitud de los flujos es la variable clave para modelar la movilidad humana que, en la práctica, se expresa por la distancia euclidiana entre dos localizaciones (Barbosa *et al.*, 2018, p. 20; Barthélemy, 2011, p. 4). La distribución de la longitud de los flujos de movilidad se ha ajustado con una función potencial cuyo exponente denota la fricción del espacio (tabla 2).

El *radio de giro de un lugar* (RGP) representa la distancia típica de los flujos que entran o salen de una GAU. Su significado y construcción es similar al radio de giro de una persona (González *et al.*, 2008; Pappalardo *et al.*, 2015). Con el mismo procedimiento se pueden calcular el radio de giro de un lugar (nodo) para *k* localizaciones (2, 5, 10...) más frecuentadas ($RGP^{(k)}$) (Tabla 2).

Indicador	Ecuación	Observaciones
Clústeres (Infomap)	$L(M) = q \curvearrowright H(Q) + \sum_{i=1}^{m} p_{\circlearrowright}^{i} H(p^{i})$	Simplificación de la estructura de la red de flujos en agrupamientos de nodos.
Índice EI	$EI_i = (E_i - I_i)/(E_i + I_i)$	E_i: aristas internas (o flujo) I_i : aristas externas (o flujo)
Distancia *(distance decay funtion)*	$P=d^{\gamma}$ $Ln(P) = -\gamma \cdot ln(d)$	P: distribución acumulada de los viajes γ: Coeficiente *distance-decay* (fricción del espacio) d: longitud de los viajes (distancia)
Radio de giro de un lugar *i*	$RGP_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \frac{f_{ij} d_{ij}^2}{f_{ij}}}$	f_{ii} Flujo de viajes entre la GAU i y las GAU j d_{ij} distancia ortodrómica entre la GAU i y las GAU j n: 1, 2, …n GAU de las que salen o entran flujos de una GAU i k: 1, 2, … k con flujos más frecuentes de una GAU i
Radio de giro *k* de un lugar	$RGP_i^{(k)} = \sqrt{\sum_{j=1}^{k} \frac{f_{ij} d_{ij}^2}{f_{ij}}}$	

Tabla 2. Indicadores espaciales de la red de interacciones.

4. RESULTADOS

4.1. PREDOMINIO DE LOS FLUJOS DE MENOR VOLUMEN, POLICENTRISMO MODERADO Y GRAN DISPARIDAD ENTRE FLUJOS DE ORIGEN Y DESTINO DE LOS NODOS

Los flujos de viaje según su tamaño se distribuyen de forma marcadamente asimétrica, con una *cola larga* que muestra el predominio de los flujos de menor volumen. De hecho, más del 87% de los flujos totales se acumula en las conexiones menores de 500 viajes semana. Esta distribución implica que la red de flujos tiene una notable diversidad o entropía (0,66), lo que significa que los flujos no se acumulan en unas cuantas conexiones. Los viajes/semana (w_{ij}) oscilan entre 20 y 352 395 (Gran Canaria Sur a Las Palmas de Gran Canaria), con un promedio de 2 646. La distribución de probabilidad sigue una función potencial $P(w) \approx w^{-\gamma(w)}$ con un exponente $\gamma(w) \approx -1{,}9$ (Figura 4, izquierda). Los flujos más cuantiosos se localizan entre GAU cercanas, especialmente en la costa mediterránea, en torno a Madrid y en las GAU de Galicia (Figura 1).

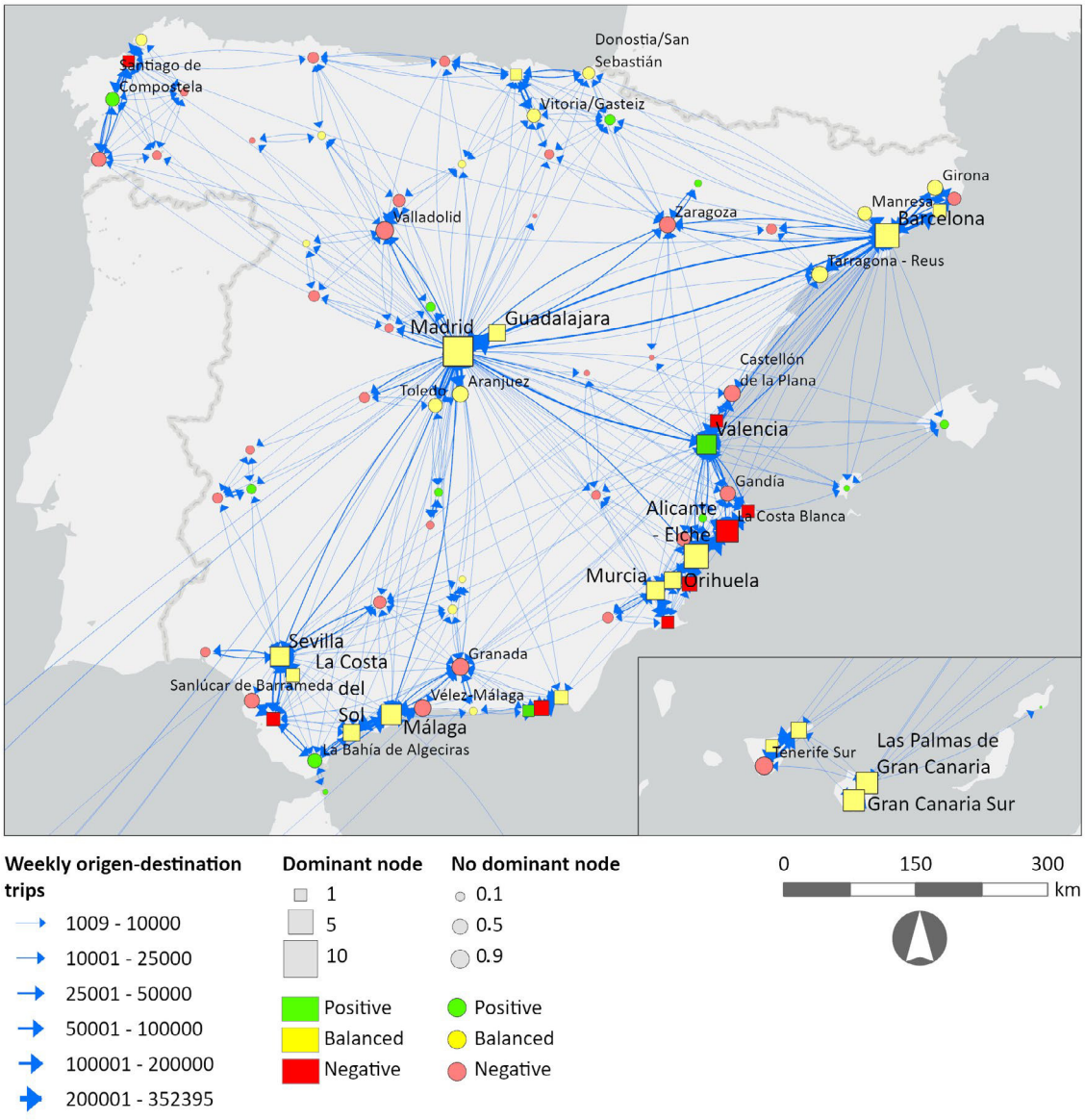

Figura 1. Dominancia, simetría y principales flujos de viajes.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

La dominancia total expresa la fortaleza de cada nodo y puede interpretarse como un indicador de la centralidad de los viajes de cada GAU; varía entre 0,03 (Arrecife) y 7,0 (Madrid), con una media de 1, muy inferior al valor máximo. La distribución de probabilidad de la dominancia $P(DIT)$ se ajusta a un régimen potencial (power law) $P(DIT) \approx DIT^{\gamma(DIT)}$ con el exponente $(DIT) \approx -2{,}3$. Estos indicadores muestran que la red de interacciones presenta un grado policentrismo moderado. Las GAU dominantes se concentran en tres zonas: en la costa mediterránea, donde se forman agrupamientos de varias GAU; el archipiélago canario, que cuenta con dos GAU dominantes; y el interior peninsular, con las GAU de Madrid y Sevilla y dos de menor tamaño (Figura 1).

La simetría es un indicador del grado de equilibrio entre las entradas y salidas de cada nodo. Los valores de la simetría son moderados, y varían entre -0,09 y 0,15, con una media de 0,00. La mayoría de los centros dominantes presenta una elevada simetría, lo que significa que el número de viajes de entrada y salida es muy similar. València es la única GAU dominante con saldo positivo; el resto de los centros dominantes tienen saldo negativo. Entre GAU no dominantes con simetría positiva, destacan las capitales autonómicas que no son capitales de provincia ni grandes ciudades, como Santiago o Mérida (Figura 2).

Para finalizar, otro aspecto importante de las interacciones se refiere a la forma en que los flujos se distribuyen entre las conexiones que llegan o parten de un nodo. Las GAU con mayor volumen de viajes, como Madrid, Barcelona, València o Zaragoza, tienen un índice $Y_2(i)$ relativamente bajo, lo que muestra un reparto de viajes bastante homogéneo entre las conexiones. Por el contrario, las GAU grandes y aisladas, como Gran Canaria Sur o Las Palmas, presentan altos índices de disparidad. Lo mismo sucede con las GAU pequeñas o más aisladas en interior de la Península o en las islas, como Burgos, Palencia, Soria o Ibiza. En las GAU con menos viajes este indicador es alto, lo que refleja el predominio de unas pocas conexiones. Las GAU cercanas a otras grandes también tienen valores de disparidad elevados, ya que estas concentran los flujos de entrada o salida de aquellas, como Guadalajara (respecto de Madrid) o Utrera (respecto de Sevilla). Este indicador tiene valores similares para los flujos de entrada y de salida (Figura 2).

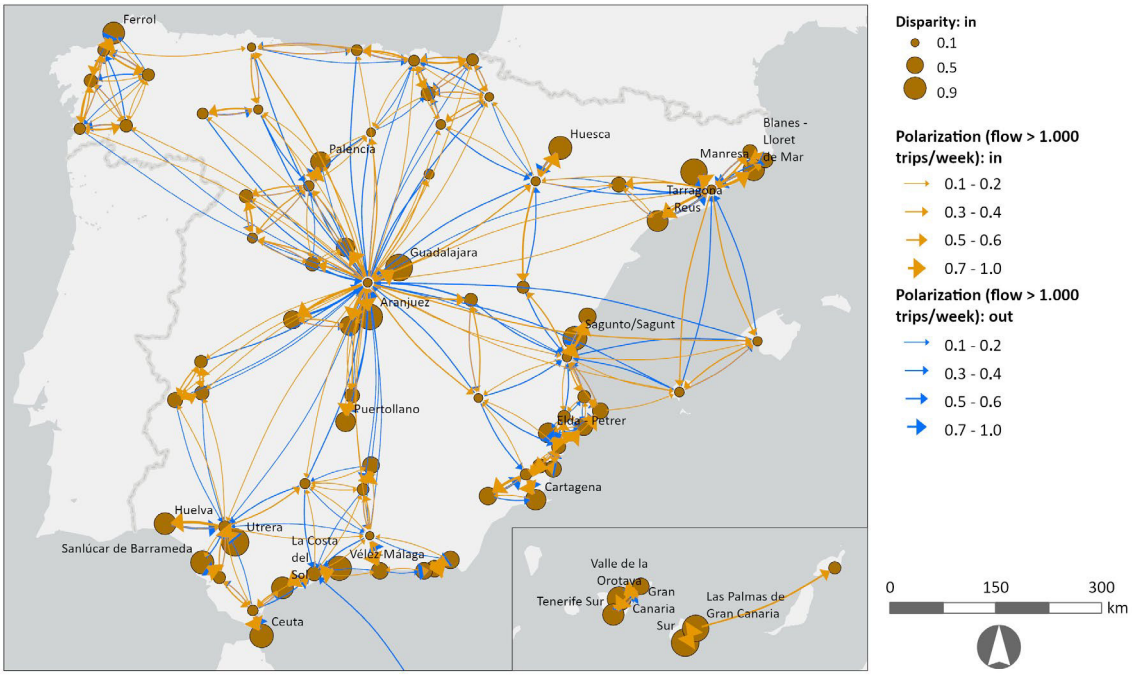

Figura 2. Disparidad de los flujos las conexiones entrantes o salientes de las GAU.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

En conjunto, los datos revelan una distribución heterogénea de la dominancia (fortaleza) de los nodos, del volumen de los flujos y de la proporción de estos entre las conexiones que entran o salen de cada nodo, lo que expresa una estructura funcional jerárquica.

4.2. LA PROXIMIDAD COMO FACTOR DE FORMACIÓN DE LOS CLÚSTERES: PRIMERA LEY DE LA GEOGRAFÍA

Los parámetros aplicados para identificar clústeres han agrupado las 86 GAU en dos niveles, con cuatro y veintiún clústeres cada uno. Estos clústeres presentan diferencias de tamaño, forma y grado de interacción.

El nivel 2 revela las estructuras locales de las interacciones entre las GAU. El tamaño de los agrupamientos varía entre las dos GAU (Ciudad Real-Puertollano) y las siete de los clústeres en torno a Madrid y Barcelona. La población total y el número de viajes de cada agrupamiento también difieren considerablemente: el más pequeño suma algo más de 136 000 habitantes y 81 000 viajes, mientras que el más grande alcanza los 6,7 millones de habitante y 2,3 millones de viajes. Un rasgo común de todos los clústeres es que están compuestos por GAU próximas entre sí, lo que refleja la influencia de las infraestructuras de trasporte que también se observa en las configuraciones lineales de algunos clústeres (Figura 3).

El índice EI mide el grado de aislamiento o extroversión de los clústeres. Los clústeres con EI menor que 0 son los más aislados y se localizan en las islas Baleares y Canarias y en el interior del territorio peninsular. En estos agrupamientos predominan las interacciones internas y con los clústeres más cercanos y son más débiles las interacciones con los clústeres más alejados. Por el contrario, los clústeres con EI mayor que 0 son los más extrovertidos y destacan el de Madrid, que se conecta fuertemente con todos los demás, y los levantinos, que intercambian flujos de volumen considerable que superan los 100 000 viajes/semana (Figura 3).

El nivel 1 evidencia la estructura funcional global, generada por los enlaces largos entre las GAU. En este nivel se han identificado cuatro agrupamientos, uno de los cuales comprende las GAU de las islas Canarias. El agrupamiento más grande engloba 11 clústeres de nivel 2 y abarca la mitad norte de España y las islas Baleares. Este agrupamiento funcional está articulado principalmente por Madrid, debido a su gran tamaño y posición geográfica central, y en menor medida por Barcelona. Las GAU de Andalucía conforman un agrupamiento funcional con Sevilla y Málaga como centros principales. Finalmente, las GAU de Levante constituyen un clúster de nivel 1 caracterizado por su fuerte cohesión interna (Figura 3).

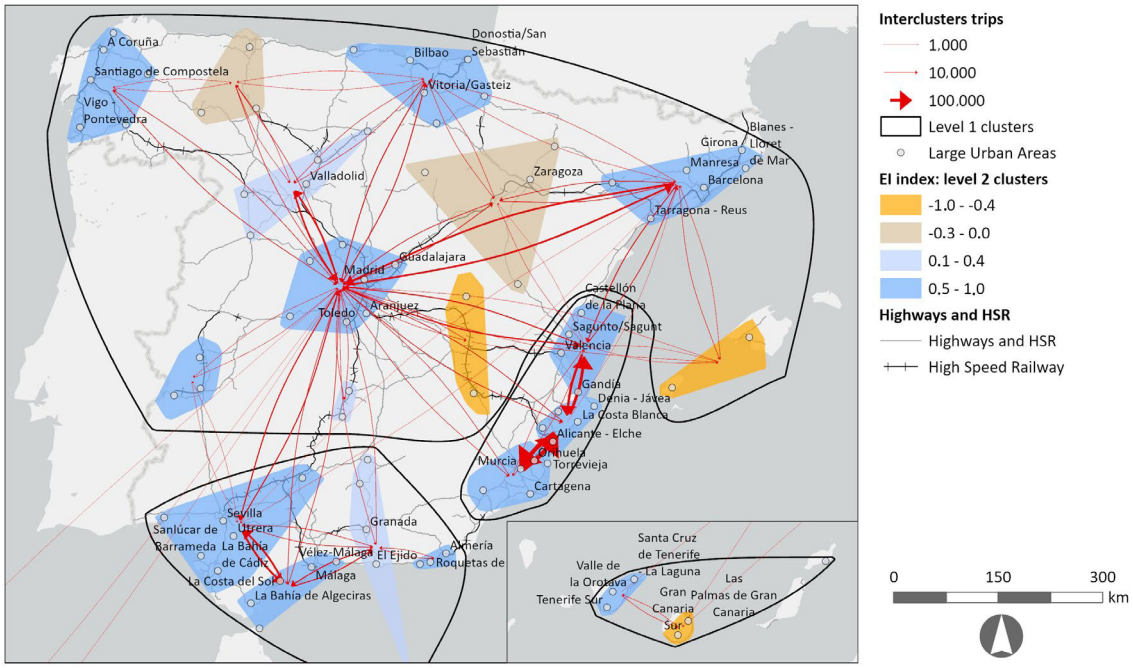

Figura 3. Agrupamientos de las GAU.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

4.3. HETEROGENEIDAD DE LA FRICCIÓN DEL ESPACIO

La longitud de los flujos, es decir la distancia de los viajes, es una variable fundamental para describir la organización espacial de las interacciones. El conjunto de los flujos de viajes entre las GAU tiene una distribución de *cola larga* con un acusado predominio de los flujos de menor longitud. Las distancias (d_{ij}) varían entre 15 km y 2 350 km (Girona, Tenerife Sur), con un promedio de 484 km. La distribución de probabilidad sigue una función potencial $P(d) \approx d^{-\gamma(d)}$ con un exponente $\gamma(d) \approx -1{,}9$ (Figura 4, derecha).

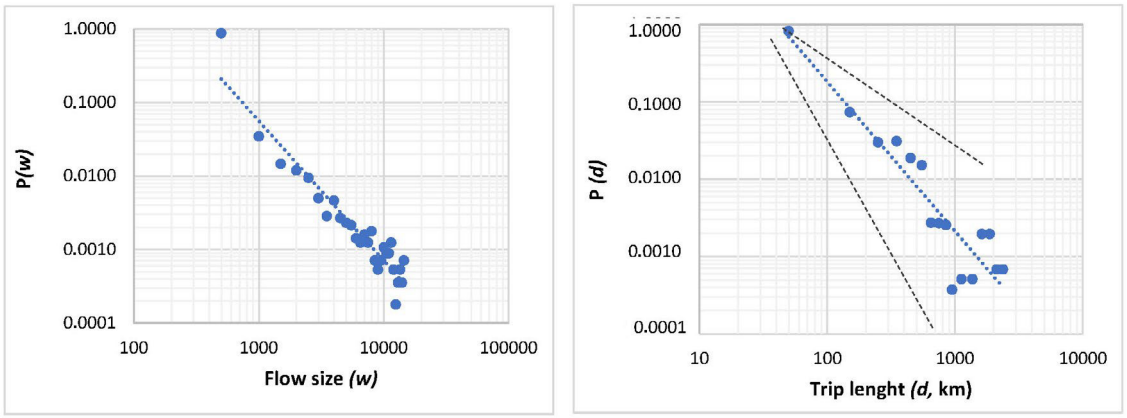

Figura 4. Izquierda: Distribución de probabilidad del tamaño de los flujos (ajuste potencial con exponente ($\gamma_{(w)} \approx -1{,}9$). Derecha: Distribución de probabilidad de la longitud de los flujos (ajuste potencial con exponente ($\gamma_{(d)} \approx -1{,}9$); las líneas de trazo son una guía para los exponente -1 y -3.
Fuente: MITMA (n. d.). Elaboración propia.

El modelo gravitatorio es una buena aproximación para la fricción del espacio que afecta al conjunto de las GAU, ya que esta fricción aumenta cercana al cuadrado de la distancia de los viajes ($\gamma \approx -1{,}9$). No obstante, cada GAU tiene un exponente de fricción específico que representa el comportamiento espacial de los flujos que entran o salen de la misma. Estos exponentes varían entre -0,23 y -3,13, lo que indica que existen notables diferencias de impedancia entre las GAU (Figura 4, derecha).

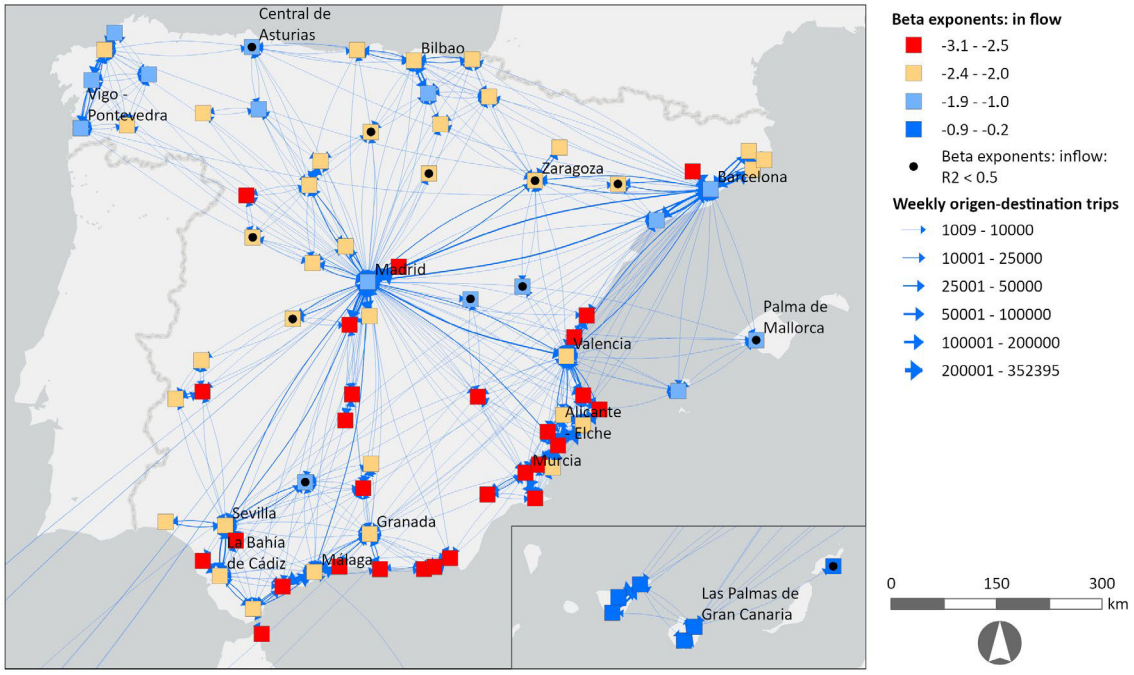

Figura 5. Distribución de los exponentes γ de la función potencial de ajuste de la distribución de probabilidad de la longitud de los viajes.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

La distribución espacial de los exponentes de fricción muestra un patrón que reproduce la estructura locacional y funcional de las GAU. Las GAU con mayor impedancia se localizan cerca de otras GAU con las que mantienen flujos de viaje elevados, como las localizadas en la costa mediterránea o en el entorno de Madrid. En cambio, la impedancia es menor en la mayoría de las GAU del interior, ya que su distribución es más dispersa y sus flujos más diversificados. La fricción más baja corresponde a las GAU canarias debido a su aislamiento y lejanía de las GAU peninsulares. La impedancia también es relativamente baja en algunas GAU periféricas, como las de Galicia, en las GAU de Baleares y en Madrid, que mantiene conexiones con todas las demás GAU. Los valores más bajos de impedancia, localizados en las islas, se relacionan con la fuerte proporción de transporte aéreo (Figura 5).

El radio de giro representa la distancia característica de los viajes de cada GAU. El rango del radio de giro de los viajes con origen o destino en cada GAU varía entre los 48 y 1 116 km, con un valor promedio de 189 km. El radio de giro se relaciona de forma inversa con el exponente de fricción del espacio: a mayor radio de giro, menor fricción del espacio. No obstante, se observan casos que se desvían de esta tendencia, como las GAU de las Islas Canarias, cuyos valores de exponente y radio de giro son resultado de la combinación de viajes muy largos y cortos (Figura 6). Las GAU con estación de alta velocidad ferroviaria no se diferencian significativamente del resto en cuanto a radio de giro y exponente de fricción. En cambio, sí que tienen una mayor proporción de viajes más largos (superiores a 50 km).

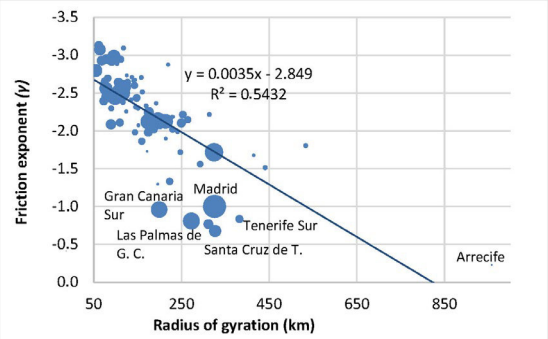

Figura 6. Relación entre el radio de giro y la fricción del espacio (tamaño de los circulo: viajes que entran a cada GAU).
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

La relación del radio de giro total con el radio de giro 2 y 5 (radio de giro de las 2 y 5 GAU más frecuentadas) muestra que en la mayoría de las GAU el radio de giro total depende de la distancia a unas pocas GAU. En el gráfico de la figura 7 (izquierda) se observa que, en general, el radio de giro total es bastante parecido al de las dos GAU más frecuentadas, excepto en las GAU de las islas que presentan mayores diferencias. El gráfico de la figura 7 (derecha) se aprecia que en todos los casos el radio de giro total se aproxima al radio de giro de las cinco GAU más frecuentadas, que suelen ser también las más cercanas (la diagonal del gráfico representa la igualdad del radio de giro total y del radio de giro *k*).

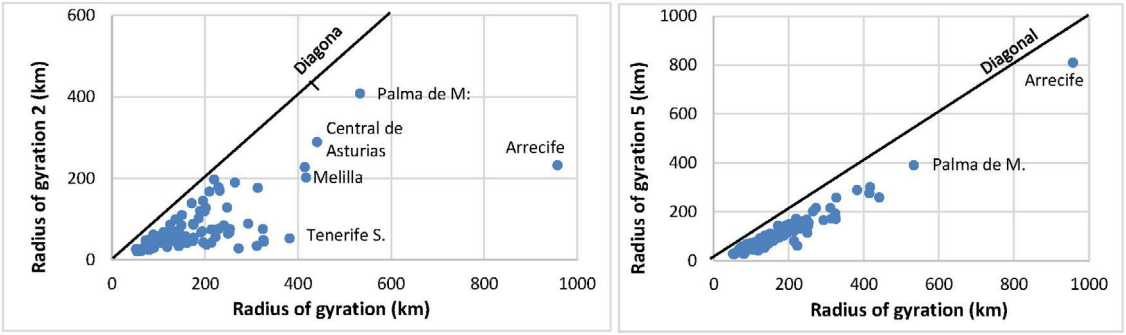

Figura 7. Relación entre el radio de giro total y el radio de giro 2 (izquierda) y entre el radio de giro total y el radio de giro 5 (derecha). La diagonal representa la igualdad del radio de giro total y del radio de giro *k*.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que las interacciones entre GAU forman una red jerarquizada, multicéntrica, estructurada en módulos funcionales, espacialmente heterogénea, que representa con valores numéricos la organización espacial y funcional histórica del sistema urbano español.

5.1. RELACIÓN ENTRE LAS INTERACCIONES Y FACTORES DEMOGRÁFICOS Y DE ACTIVIDAD SOCIOECONÓMICA

El tamaño demográfico de las GAU influye en el volumen de los viajes que se realizan desde y hacia las mismas, pero esta relación también depende de otros factores. Las GAU medianas y pequeñas, menos pobladas, suelen tener un índice per cápita de viajes más elevado que las GAU más grandes, lo que muestra cierta dependencia de las GAU mayores en las relaciones socioeconómicas. Las siete GAU más grandes (mayores de 750 000 habitantes) concentran el 52% de la población total de las GAU, pero solo representan algo más de la cuarta parte del total de viajes (Tabla 3). Estas diferencias de valores per cápita reflejan especializaciones productivas y residenciales.

GAU	Población (1k)	Población (%)	Viajes semana (in+out) (1k)	Viajes semana (%)	Strength (*w*) (total = 86; x =1) (fortaleza)
Madrid	6 258	19,3	1 402	8,1	7,0
Barcelona	5 131	15,9	882	5,1	4,4
València	1 573	4,8	602	3,5	3,0
Sevilla	1 312	4,1	571	3,3	2,8
Málaga	954	2,9	646	3,7	3,2
Bilbao	876	2,7	202	1,2	1,0
Central de Asturias	787	2,4	63	0,4	0,3
7 GAU	***16 891***	***52,2***	***4 378***	***25,3***	***21,8***
Resto (79 GAU)	**15 448**	**47,8**	**30 128**	**74,7**	**64,2**

Tabla 3. Indicadores generales de la movilidad en GAU mayores de 750 000 habitantes.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

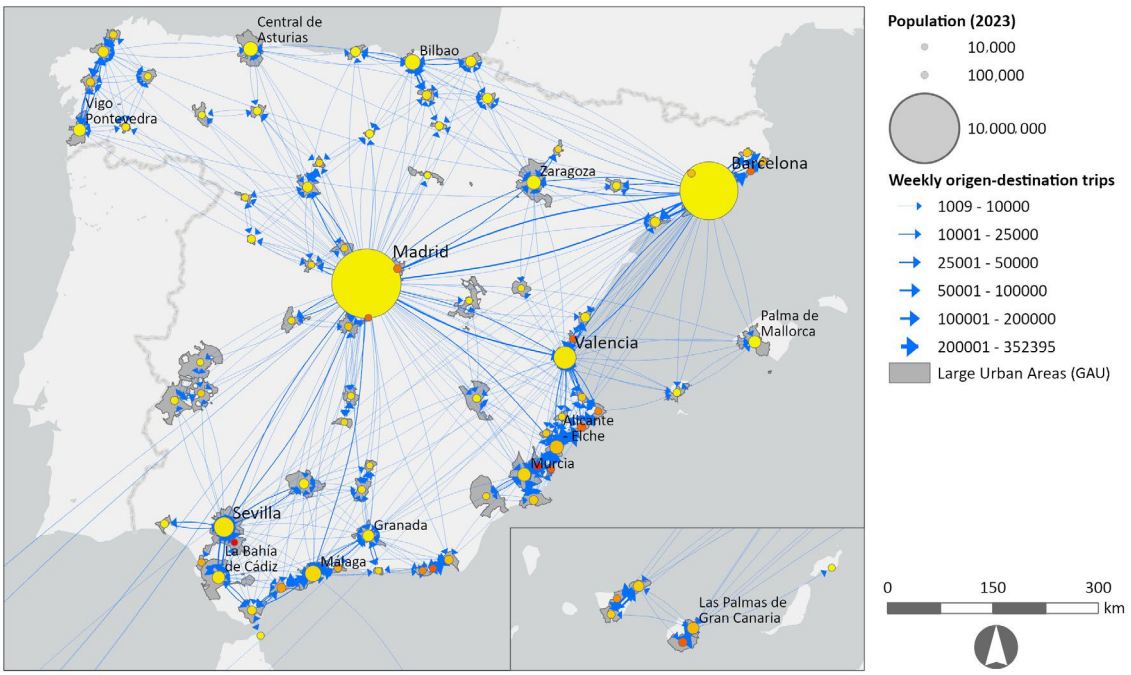

Figura 8. Población e índice per cápita de viajes en las GAU.
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

Las GAU medianas y pequeñas que tienen los índices de viajes per cápita más elevados se concentran en dos sectores. Por un lado, se localizan próximas a grandes áreas metropolitanas (Madrid, Barcelona, València, Sevilla) como Aranjuez, Guadalajara, Utrera y Sagunto. Por otro, se distribuyen por la costa mediterránea, especialmente las GAU con fuerte peso de las actividades turística, como Blanes-Lloret de Mar, La Costa Blanca, Torrevieja, Orihuela, Roquetas de Mar, La Costa del Sol, o insulares como Gran Canaria Sur (Figura 1). También son destacables los índices per cápita de las capitales autonómicas (Santiago de Compostela, Vitoria-Gasteiz, Mérida, Toledo), debidos a la concentración de servicios asociados a su función político-administrativa.

La actividad turística y la especialización residencial son también factores clave para generación de viajes como se observa en la tabla 4. En efecto, los flujos más elevados corresponden a conexiones recíprocas de GAU de gran potencial turístico o entre grandes GAU, como Madrid o Sevilla, y GAU próximas.

Conexiones origen-destino	Viajes semana (s) (1k)
Gran Canaria Sur-Las Palmas de G. C.	352,4
Las Palmas de G. C. Gran Canaria Sur	349,9
La Costa Blanca-Alicante Elche	254,4
Alicante Elche- La Costa Blanca	253,8
Guadalajara-Madrid	213,8
Madrid-Guadalajara	212,4
La Costa del Sol-Málaga	183,3
Málaga-La Costa del Sol	182,8
Utrera-Sevilla	140,9
Sevilla-Utrera	140,3

Tabla 4. Principales conexiones según el volumen del flujo de viajes (s).
Fuente: MITMA (n.d.). Elaboración propia.

5.2. LA FORMA Y ORGANIZACIÓN ESPACIAL DE LA RED DE FLUJOS DE VIAJE EN RELACIÓN CON LA ESTRUCTURA LOCACIONAL DE LAS GAU Y LAS INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTES

Los flujos de viajes forman una estructura jerarquizada de nodos y conexiones que se inscribe en las redes de infraestructuras de transporte y está condicionada por la distribución espacial de las GAU.

La red de interacciones presenta una topología radial, con un gran foco central que mantiene flujos de viaje considerables con otros focos importantes en la periferia, que a su vez conectan con otras GAU de su entorno. Estos focos periféricos presentan concentraciones en el litoral mediterráneo. La red funciona como un sistema integrado, compuesto por agrupamientos de GAU organizados en dos niveles funcionales.

Esta organización territorial de la red de flujos de viajes se explica principalmente por la distancia entre las áreas urbanas y por las posibilidades de las redes transporte. Los subsistemas funcionales locales (clústeres) están formados por GAU vecinas entre sí, y fuertemente cohesionados y conectados a uno o varios clústeres más importantes. Sin embargo, existen transiciones: por ejemplo, las GAU de Teruel, Cuenca o Albacete mantienen flujos significativos con Madrid y las áreas urbanas de la costa levantina. Estos agrupamientos locales se integran en otros mayores y en uno global a través de flujos de gran alcance que conectan las GAU más importantes.

En algunos agrupamientos locales la mayoría de los viajes son internos, debido a limitaciones de transporte o por la considerable distancia a otras GAU, como sucede en los del interior. En cambio, las GAU principales disponen de múltiples modos de transporte (carretera, autovías, ferrocarril de alta velocidad, transporte aéreo) que facilitan la interacción con las demás GAU. La alta velocidad ferroviaria ha reforzado las conexiones directas entre Madrid y las GAU

con estación de este tipo de transporte (Valladolid, Segovia, Zaragoza, Barcelona, València, Ciudad Real, Sevilla, Málaga, etc.) o con Barcelona (Zaragoza, Lleida, etc.). No obstante, no se ha incrementado significativamente ni la intensidad ni el radio de giro de los viajes entre otras GAU con alta velocidad (por ejemplo, entre Zaragoza y Valladolid o Zaragoza y Sevilla), posiblemente porque la existencia de la infraestructura no implica una oferta de trenes directos en las relaciones secundarias salvo en el caso de Ciudad Real y Puertollano, que forman un clúster y están conectados por servicios ferroviarios frecuentes y económicos. Las GAU con estación de alta velocidad sí que tienen una proporción mayor que las restantes de viajes más largos.

Los flujos de viajes presentan distribuciones de probabilidad similares a las de otros tipos de desplazamiento, tanto en función de su volumen como de su longitud. El exponente de la función que ajusta la probabilidad de los flujos según su volumen ($\gamma(w) \approx$ -1,9) es muy parecido al de movimientos d como el tráfico por carretera ($\gamma(w) \approx$ -1,8) (De Montis *et al.*, 2007) o el transporte aéreo (-1,7) (Barthélemy, 2011, p. 14). También el exponente global de ajuste de probabilidad de los flujos de viaje según su longitud ($\gamma(d) \approx$ -1,9) es comparable al de desplazamientos en el espacio urbano (-1,8) (Chowell *et al.*, 2003; Escolano-Utrilla *et al.*, 2024; Yang *et al.*, 2019).

La fricción o impedancia espacial de cada GAU recoge el contexto espacial de cada GAU, principalmente la intensidad de las relaciones con otras GAU cercanas y lejanas. Los valores medios del exponente γ (entre -2,5 y -1,5 aproximadamente) indican una fricción espacial moderada, típica de las GAU periféricas o más aisladas (Málaga, Zaragoza, Burgos y otras del interior), que tienen radios de giro relativamente grandes. Las GAU con exponentes bajos (menores de -2,5) presentan una fricción espacial muy fuerte, pero causada por la cercanía entre GAU más que por deficiencias en las infraestructuras de transporte, lo que hace que la mayoría de los viajes se concentren en unas pocas GAU muy próximas. Las GAU con un exponente alto (alrededor de -1) reflejan una fricción espacial débil, como el caso de las GAU de las islas Canarias, ya que el uso del transporte aéreo es necesario para viajar a ciudades peninsulares.

5.3. COMPLEJIDAD DE LAS INTERACCIONES Y POSIBLES PROCESOS DE METAPOLIZACIÓN DEL TERRITORIO

Las interacciones entre GAU muestran considerables diferencias espaciales en su intensidad y complejidad, lo que indica el desigual desarrollo de posibles procesos de *metapolización* del territorio. Una interpretación cualitativa de los resultados obtenidos podría sintetizarse en la siguiente gradación de la intensidad y alcance de los procesos de *metapolización*.

El agrupamiento de nivel 1 formado por 14 GAU levantinas es el más complejo. Las GAU tienen diferentes tamaños de población y gran diversidad de actividades económicas, aunque con gran peso de la actividad turística. Este clúster constituye un subsistema multicéntrico, con gran continuidad espacial, cuyos principales focos son Alicante Elche, La Costa Blanca y València. Algunas GAU registran proporciones muy elevadas de viajes fuera de su territorio en relación con el total de viajes, como Orihuela (23,1%), Sagunto (17,1%), Torrevieja (13,9%) y La Costa Blanca (12%).

Las GAU de Madrid y Barcelona también mantienen interacciones fuertes con las GAU vecinas. No obstante, estos agrupamientos tienen una estructura monocéntrica, en la que destaca el peso de las GAU centrales y la polarización de los flujos (por ejemplo, más del 90% de los viajes hacia a la GAU de Guadalajara y Aranjuez proceden de la GAU de Madrid; más del 95% de los que llegan a la GAU de Manresa vienen de la GAU de Barcelona), exponiendo el atractivo de las principales ciudades para la generación de los flujos.

El agrupamiento multicéntrico compuesto por las GAU del País Vaco, Pamplona, Logroño y Santander Torrelavega se caracteriza por mantener flujos de viajes mutuos muy equilibrados. Lo mismo sucede con el clúster de las GAU de Galicia, que también presenta una elevada cohesión interna. Ambos grupos forman parte del macroagrupamiento de nivel 1.

Las interacciones de las GAU de Andalucía se organizan en cuatro grupos de nivel 2, que a su vez forman un agrupamiento de nivel 1. El clúster más grande y centralizado está compuesto por la GAU de Sevilla y otras cercanas que se extienden hasta la costa atlántica. De los

restantes, el más complejo es el clúster formado por la GAU de Málaga y otras adyacentes, de marcado carácter lineal y con cierto grado de policentrismo, con una estructura similar a las interacciones vistas en la costa levantina por el impacto de la actividad turística.

Las GAU de las Islas Canarias forman un agrupamiento de nivel 1 compuesto, a su vez, por dos agrupamientos de nivel dos integrados por las GAU de Tenerife y Las Palmas de Gran Canaria respectivamente. Ambos clústeres tienen estructuras policéntricas que se relacionan con la elevada especialización turística de las islas.

El resto de los agrupamientos presentan flujos más débiles entre las GAU que los componen y estructuras menos complejas. No obstante, existen pares de GAU con interacciones bastante intensas, como son los casos de Palencia Valladolid, Zaragoza Huesca y Mérida Badajoz.

El estudio tiene algunas limitaciones que se relacionan con la representatividad de los datos, ya que de la muestra quedan excluidas las personas que no disponen de teléfono móvil, y de significado ya que solo se ha considerado el número de viajes, sin tener en cuenta la actividad específica asociada a cada viaje.

6. CONCLUSIONES

En esta investigación se ha estudiado la estructura funcional y la organización espacial y de las interacciones entre *Grandes Áreas Urbanas* (GAU) españolas mediante el análisis de la red de movilidad de las personas. Los resultados proporcionan, además, indicios de procesos de *metapolización* del territorio.

En relación con los objetivos se puede concluir que la movilidad entre GAU forma una red jerarquizada con dos niveles funcionales y varios centros bien conectados, pero no tiene un comportamiento *scale free*, ya que la distribución de probabilidad de la centralidad tiene un exponente $\gamma \approx -1$.

La organización funcional modular de las interacciones se refleja en agrupamientos espaciales compactos y de formas influenciadas por las redes de transporte. La disparidad entre los flujos que entran o salen de cada GAU muestra que los viajes se concentran en unos pocos destinos u orígenes, generalmente los más próximos, por lo que la mayor parte de los desplazamientos tienen como destino alguna GAU del mismo clúster y, muy probablemente, con retorno en el día. Este patrón funcional y espacial se puede interpretar como un estado de equilibrio dinámico y coherente con el modelo locacional y productivo, es decir, con la cercanía o alejamiento entre las GAU, con la localización de las actividades económicas, y con la calidad y capacidad de las infraestructuras y medios de transporte. En conjunto, la red de interacciones responde más al modelo de búsqueda de "oportunidades más cercanas" (Carra *et al.*, 2016) que al modelo de *intervening opportunities*. Los resultados obtenidos apoyan la existencia de proceso de *metapolización* en determinados sectores del territorio.

Respecto de las hipótesis, se ha constatado que los flujos dominantes son de pequeño tamaño y de corta longitud, con distribuciones de probabilidad que siguen una ley de potencias *scale free*, comparables a las de otros modos de desplazamiento. Esto implica que existen flujos largos y de cierto volumen con origen y destino, sobre todo, en grandes GAU. La similitud de distribuciones entre distintos tipos de desplazamiento sugiere que existen principios comunes que operan de forma consistente en estos desplazamientos.

Finalmente, el método utilizado en esta investigación proporciona información numérica de las características de la estructura de las interacciones entre GAU, lo que facilita la comparación entre diversas áreas y el seguimiento de su evolución temporal. Asimismo, se propone ampliar la investigación con el análisis de otros aspectos, como el ritmo temporal de los desplazamientos, la actividad específica de los viajes y la formación y sexo de las personas que se desplazan, en la medida que los datos lo permitan.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, J., FAUST, K., y LOVASI, G.S. (2012). "Capturing context: Integrating spatial and social network analyses". *Social Networks*, 34(1): 1-5. Doi:10.1016/j.socnet.2011.10.007.

ANDRIS, C., LIU, X., y FERREIRA, J. (2018). "Challenges for social flows". *Computers, Environment and Urban Systems*, 70: 197-207. Doi:10.1016/j.compenvurbsys.2018.03.008.

ARCHONDO, I., BARANDIARAN, J., CARDOSO, M., CARTA, G., POU, V., RUIZ, P., y SUÁREZ, A. (2018). *Tendencias en la urbanización: Riesgos y oportunidades*. Banco Bilbao Vizcaya Argentaria <https://www.bbvaresearch.com/publicaciones/tendencias-en-la-urbanizacion-riesgos-y-oportunidades/> [consulta: 20/12/2023]

ASCHER, F. (2004). *Los nuevos principios del urbanismo. El fin de las ciudades no está a la orden del día*. Madrid: Alianza Editorial.

AZCÁRATE LUXÁN, M.V., COCERO MATESANZ, D., FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, A., GARCÍA LÁZARO, F.J., MUGURUZA CAÑAS, C., y SANTOS PRECIADO, J.M. (2010). "El proceso de urbanización dispersa de las metrópolis españolas, en el contexto del desarrollo urbano europeo". *Espacio Tiempo y Forma. Serie VI*, Geografía, (3):13-26. Doi:10.5944/etfvi.3.2010.2611.

BARBOSA, H., BARTHELEMY, M., GHOSHAL, G., JAMES, C.R., LENORMAND, M., LOUAIL, T., MENEZES, R., RAMASCO, J.J., SIMINI, F., y TOMASINI, M. (2018). "Human Mobility: Models and Applications". *Physics Reports*, 734: 1-74. Doi:10.1016/j.physrep.2018.01.001.

BARTHÉLEMY, M. (2011). "Spatial networks". *Physics Reports*, 499(1-3):1-101. Doi:10.1016/j.physrep.2010.11.002.

BARTHÉLEMY, M. (2022). *Spatial Networks. A complete Introduction: From Graph Theory and Statistical Physics to Real-World Applications*. Cham: Springer Nature Switzerland AG.

BARTHÉLEMY, M., BARRAT, A., PASTOR-SATORRAS, R., y VESPIGNANI, A. (2005). "Characterization and modeling of weighted networks". *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 346(1-2):34-43. Doi:10.1016/j.physa.2004.08.047.

BELLET, C., y UREÑA, J.M. (2016). "High-Speed Rail Transport and its Implications for Different Types of Cities and Territories". *The Open Transportation Journal*, 10(1):1-6. Doi:10.2174/1874447801610010001.

BELLET-SANFELIU, C., ALONSO-LOGROÑO, M.P., y CASELLAS, A. (2010). "Infraestructuras de transporte y territorio. Los efectos estructurantes de la llegada del tren de alta velocidad en España". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 52:143-164.

BORSDORF, A. (2004). "On the way to postsuburbia? Changing structures in the outskirts of European cities", in Borsdorf, A. y Zembri, P. (eds): *European cities: Insights on Outskirts Structures*. Paris: METL/PUCA, pp. 2-28.

CARRA, G., MULALIC, I., FOSGERAU, M., y BARTHELEMY, M. (2016). "Modelling the relation between income and commuting distance". *Journal of The Royal Society Interface*, 13(119):20160306. Doi:10.1098/rsif.2016.0306.

CASTELLS, M. (1995). *La ciudad informacional. Tecnologías de la información, reestructuración económica y el proceso urbano regional*. Madrid: Alianza Editorial.

CEBRIÁN-ABELLÁN, F. (2018). "Ciudades medias y áreas metropolitanas: escalas, procesos, ritmos y conflictos", in Cebrían-Abellán, F. (ed): *Ciudades medias y áreas metropolitanas: de la dispersión a la regeneración*. Cuenca: Ediciones de la Univ. de Castilla-La Mancha, pp. 13-24.

CHOWELL, G., HYMAN, J.M., EUBANK, S., y CASTILLO-CHAVEZ, C. (2003). "Scaling laws for the movement of people between locations in a large city". *Physical Review E*, 68(6):066102. Doi:10.1103/PhysRevE.68.066102.

DE MIGUEL GONZÁLEZ, R. (2001). "Périurbanisation et métropolisation en Espagne (Periurbanization and metropolization in Spain)". *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 78(1): 78-90. Doi:10.3406/bagf.2001.2203.

DE MONTIS, A., BARTHÉLEMY, M., CHESSA, A., y VESPIGNANI, A. (2007). "The Structure of Interurban Traffic: A Weighted Network Analysis". *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(5):905-924. Doi:10.1068/b32128.

ESCALONA-ORCAO, A.I., y CLIMENT-LÓPEZ, E.A. (2012). "Factors and limits of interurban industrial decentralization the case of Zaragoza (Spain)". *European Urban and Regional Studies*, 19(4):420-433. Doi:10.1177/0969776411428561.

ESCOLANO-UTRILLA, S., LÓPEZ-ESCOLANO, C., y SALVADOR-OLIVÁN, J.A. (2024). "Size and spatial and functional structure of aggregate daily mobility networks in functional urban areas: Integrating adjacent spaces at several scales". *Cities*, 145:104731. Doi:10.1016/j.cities.2023.104731.

GIL-ALONSO, F., LÓPEZ-VILLANUEVA, C., y PUJADAS RÚBIES, I. (2020). "Transformaciones en las grandes metrópolis españolas en el siglo XXI: ¿De la suburbanización a la fragmentación demográfica y social?", in Comité Español de la Unión Geográfica Internacional (UGI) (ed): *España, puente entre continentes*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica, pp. 250-263. Doi:10.7419/162.10.2020.

GONZÁLEZ, M.C., HIDALGO, C.A., y BARABÁSI, A.L. (2008). "Understanding individual human mobility patterns". *Nature*, 453(7196):779-782. Doi:10.1038/nature06958.

GUTIÉRREZ, J. (2001). "Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border". *Journal of Transport Geography*, 9(4):229-242. Doi:/10.1016/S0966-6923(01)00017-5.

HOLL, A. (2007). "Twenty years of accessibility improvements. The case of the Spanish motorway building programme". *Journal of Transport Geography*, 15(4):286-297. Doi:10.1016/j.jtrangeo.2006.09.003.

HOLL, A., y MARIOTTI, I. (2018). "The Geography of Logistics Firm Location: The Role of Accessibility". *Networks and Spatial Economics*, 18(2):337-361. Doi:10.1007/s11067-017-9347-0.

INDOVINA, F. (2003). "La metropolizzazione del territorio. Nuove gerarchie territoriali". *Economia e Società Regionale*, 21(3-4):46-85.

KRACKHARDT, D., y STERN, R.N. (1988). "Informal Networks and Organizational Crises: An Experimental Simulation". *Social Psychology Quarterly*, 51(2):123. Doi:10.2307/2786835.

LIMTANAKOOL, N., DIJST, M., y SCHWANEN, T. (2007). "A Theoretical Framework and Methodology for Characterising National Urban Systems on the Basis of Flows of People: Empirical Evidence for France and Germany". *Urban Studies*, 44(11):2123-2145. Doi:10.1080/00420980701518990.

LÓPEZ-ESCOLANO, C., y PUEYO-CAMPOS, Á. (2018). Medida y valoración de la accesibilidad viaria en España: revisión y casos. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 50(197):473-486.

MINISTERIO DE TRANSPORTES MOVILIDAD Y AGENDA URBANA (n.d.). *Estudio de movilidad con Big Data durante la pandemia*, Madrid, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible - Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana <https://www.mitma.gob.es/ministerio/covid-19/evolucion-movilidad-big-data>, [consulta: 04/05/2023]

MINISTERIO DE TRANSPORTES MOVILIDAD Y AGENDA URBANA (2022). *Áreas Urbanas en España, 2022*. Madrid, Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana <https://atlasau.mitma.gob.es/#c=home>, [consulta 10/05/2023]

MINISTERIO DE TRANSPORTES MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. (2023). *Estudio de movilidad de viajeros de ámbito nacional aplicando la tecnología Big Data. Informe metodológico*. Madrid, Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible - Ministerio de Vivienda y Agenda Urbana <https://www.mitma.gob.es/ministerio/proyectos-singulares/estudios-de-movilidad-con-big-data/metodologia-del-estudio-de-movilidad-con-bigdata>, [consulta 10/05/2023]

MIRALLES-GUASCH, C., y TULLA-PUYOL, A.F. (2012). "La región metropolitana de Barcelona. dinámicas territoriales recientes". *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 58: 299-318.

MORALES-GIL, A. (2010). "Las superficies logísticas y la organización espacial de las redes de transporte de mercancías en España". *Papeles de Geografía*, 51-52: 211-222.

OLAZABAL, E., y BELLET, C. (2019). "De la ciudad compacta a la ciudad extensa. Procesos de urbanización recientes en áreas urbanas españolas articuladas por ciudades medias". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 39(1):149-175. Doi:10.5209/aguc.64681.

PAPPALARDO, L., SIMINI, F., RINZIVILLO, S., PEDRESCHI, D., GIANNOTTI, F., y BARABÁSI, A.L. (2015). "Returners and explorers dichotomy in human mobility". *Nature Communications*, 6(1):8166. Doi:10.1038/ncomms9166

PERRIN, T. (2021). "Metropolización y regiones metropolitanas: dinámicas europeas", in Parreño-Castellano, J.M. y Moreno-Medina, C.J. (eds.): *La reconfiguración capitalista de los espacios urbanos: transformaciones y desigualdades*. Gran Canaria: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, pp. 91-114.

RATTI, C., SOBOLEVSKY, S., CALABRESE, F., ANDRIS, C., READES, J., MARTINO, M., CLAXTON, R., y STROGATZ, S.H. (2010). "Redrawing the Map of Great Britain from a Network of Human Interactions". *PLoS ONE*, 5(12):e14248. Doi:10.1371/journal.pone.0014248.

ROSVALL, M., AXELSSON, D., y BERGSTROM, C.T. (2009). "The map equation". *European Physical Journal: Special Topics*, 178(1):13-23. Doi:10.1140/EPJST/E2010-01179-1.

SHANNON, P., MARKIEL, A., BALIGA, N.S., WANG, J.T., RAMAGE, D., AMIN, N., SCHWIKOWSKI, B., y IDEKER, T. (2003). "Cytoscape: a software environment for integrated models of biomolecular interaction networks". *Genome Research*, 13(11):2498-2504. Doi:10.1101/gr.1239303.

SIMINI, F., GONZÁLEZ, M.C., MARITAN, A., y BARABÁSI, A.L. (2012). "A universal model for mobility and migration patterns". *Nature*, 484(7392):96-100. Doi:10.1038/nature10856.

SINGHAL, A., CAO, S., CHURAS, C., PRATT, D., FORTUNATO, S., ZHENG, F., y IDEKER, T. (2020). "Multiscale community detection in Cytoscape". *PLOS Computational Biology*, 16(10):e1008239. Doi:10.1371/journal.pcbi.1008239.

STOUFFER, S.A. (1940). "Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance". *American Sociological Review*, 5(6):845. Doi:10.2307/2084520.

TOBLER, W. (1970). "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region". *Economic Geography*, 46(2):234-240.

UREÑA, J.M. (2005). "Alta velocidad ferroviaria e integración metropolitana en España: el caso de Ciudad Real y Puertollano". *EURE Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 31(92):87-104.

YANG, X., FANG, Z., XU, Y., YIN, L., LI, J., y LU, S. (2019). "Spatial heterogeneity in spatial interaction of human movements—Insights from large-scale mobile positioning data". *Journal of Transport Geography*, 78:29-40. Doi:10.1016/j.jtrangeo.2019.05.010.